



## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **10062641 A**(43) Date of publication of application: **06.03.98**

(51) Int. Cl.

**G02B 6/22**(21) Application number: **09155873**(22) Date of filing: **29.05.97**(30) Priority: **10.06.96 JP 08147619**(71) Applicant: **FURUKAWA ELECTRIC CO LTD:THE**(72) Inventor: **AKASAKA YOICHI****(54) DISPERSION COMPENSATING FIBER AND ITS MANUFACTURE**

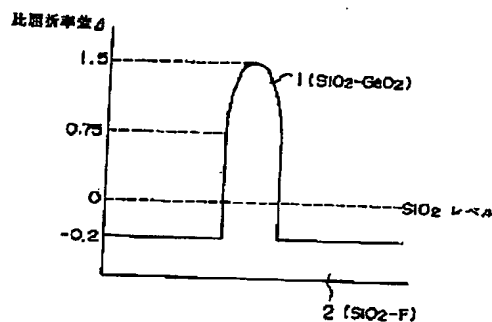
high quality.

COPYRIGHT: (C)1998,JPO

## (57) Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To suppress the generation of polarized wave dispersion by setting the germanium concentration change in the circumferential direction of a center core circumference situated in the center part of a quartz glass core to a specified value or less by the value of specific refractive index difference.

**SOLUTION:** This dispersion compensating fiber is formed of a quartz glass core having germanium added thereto and a quartz glass clad having fluorine added thereto on the outside of the core. The profile of refractive index distribution of the dispersion compensating fiber has a structure in which a center core 1 having the highest refractive index is surrounded by a clad 2 having a low refractive index. The change of germanium concentration in the circumferential direction on the core circumference is set to 0.05% or less by the specific refractive index difference. Thus, double refraction of the core caused in spinning can be reduced, and the polarized wave dispersion value resulted from the double refraction of the core can be reduced to 0.1ps/(km) to perform a large capacity light transmission of



(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平 10 - 6 2 6 4 1

(43) 公開日 平成10年(1998)3月6日

(51) Int. Cl. °

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

G 0 2 B 6/22

G 0 2 B 6/22

審査請求 未請求 請求項の数 3

F D

(全 5 頁)

(21) 出願番号 特願平 9 - 1 5 5 8 7 3  
(22) 出願日 平成9年(1997)5月29日  
(31) 優先権主張番号 特願平 8 - 1 4 7 6 1 9  
(32) 優先日 平 8 ( 1 9 9 6 ) 6 月 1 0 日  
(33) 優先権主張国 日本 ( J P )

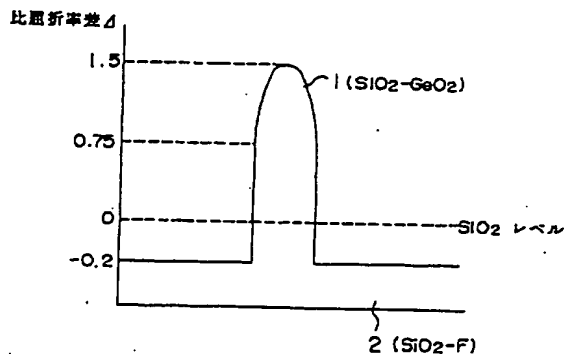
(71) 出願人 000005290  
古河電気工業株式会社  
東京都千代田区丸の内2丁目6番1号  
(72) 発明者 赤坂 洋一  
東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古河  
電気工業株式会社内  
(74) 代理人 弁理士 五十嵐 清

(54) 【発明の名称】 分散補償ファイバとその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 コアのプロファイルを整えるためにコアロッドの表面の研削工程を行って製造した分散補償ファイバであっても、紡糸した時に生じるコアの複屈折を低減することができ、よってコアの複屈折に起因する偏波分散値の増加を抑制することができる分散補償ファイバを提供する。

【解決手段】 ゲルマニウムを添加した石英ガラスコア 1 の外側にフッ素を添加した石英ガラス系クラッド 2 を配する。コア 1 の外周の周方向のゲルマニウム濃度変化量は比屈折率差の値である 0.05% 以下とする。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 ゲルマニウムを添加した石英ガラス系コアと同コアの外側のフッ素を添加した石英ガラス系クラッドにより構成される分散補償ファイバにおいて、前記石英ガラス系コアの中心部に位置するセンタコア外周の周方向におけるゲルマニウム濃度変化量が比屈折率差の値で 0.05% 以下であることを特徴とする分散補償ファイバ。

【請求項 2】 ゲルマニウムを添加した石英ガラス系センタコアと同センタコアの外側のフッ素を添加した石英ガラス系サイドコアと同サイドコアの外側の石英ガラス系クラッドにより構成される分散補償ファイバにおいて、前記石英ガラス系コアの中心部に位置するセンタコア外周の周方向におけるゲルマニウム濃度変化量が比屈折率差の値で 0.05% 以下であることを特徴とする分散補償ファイバ。

【請求項 3】 ゲルマニウムを添加した石英系多孔質コア母材を脱水・焼結して得たコアロッド外周の周方向におけるゲルマニウム濃度変化量を比屈折率差の値で 0.05% 以下とした後、コアロッドの外側にフッ素を添加した石英系多孔質クラッド層を堆積させ、次いで脱水・焼結して得たガラス母材を熔融紡糸することを特徴とする分散補償ファイバの製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、 $1.3\mu\text{m}$  の波長帯に零分散を持つ光ファイバを用いて  $1.55\mu\text{m}$  波長帯で光通信を行った場合に生じる分散を補償するための分散補償ファイバに関する。

【0002】

【従来の技術】 近年、理論的に最も低損失伝送が可能であるとされる  $1.55\mu\text{m}$  波長帯の光信号を用いて長距離大容量伝送を行うことが検討されている。現在布設されている、すなわち既設の光伝送路は単一モード光ファイバにより構築されている。該単一モード光ファイバの分散波長特性は波長が  $1.3\mu\text{m}$  帯で分散が零となりこの波長から離れるに従って分散が大きくなり、特に  $1.55\mu\text{m}$  の波長帯で正の大きな分散を生じる。よって、該単一モード光ファイバによって構築されている既設の伝送路で  $1.55\mu\text{m}$  帯の波長の光を伝送しようとするとき波形が歪んでしまうという問題が生じていた。そこで、この単一のモード光ファイバの波長  $1.55\mu\text{m}$  帯での分散を補償するために、波長  $1.55\mu\text{m}$  帯において前記分散とは逆符号の大きな分散、すなわち負の大きな分散を有する分散補償ファイバを前記伝送路に挿入することにより、分散を相殺させることが試みられている。

【0003】 負の大きな分散を得るためには、通常の単一モード光ファイバに比べて、コアとクラッドの屈折率差を極端に大きくするか、コア径を極端に小さくする必要がある。コア径を極端に小さくすると、単一モード光

ファイバとの接続位置でコア径の大小による段差が生じ、接続損失が大きくなるなどの問題が生じることから、通常はコアとクラッドの屈折率差を極端に大きくしたハイ (High) 屈折率差構造のプロファイルを有する分散補償ファイバが用いられている。

【0004】 このようなハイ屈折率差構造の分散補償ファイバにおいては、コアの屈折率を大きくするための屈折率調整剤 ( $\text{GeCl}_4$ ) はガラス原料 ( $\text{SiCl}_4$ ) ガスとともに火炎加水分解させることによりドーブされ、クラッドの屈折率を小さくするためのフッ素はフッ素含有雰囲気中で多孔質クラッド母材をガラス化させることによりドーブされている。そのため、単一モード光ファイバのようにコアとクラッドを同時に合成すると、ガラス化時にクラッドだけでなくコアにもフッ素がドーブされてしまい、ハイ屈折率差構造のプロファイルを得ることができない。よって、前記分散補償ファイバは、コアとクラッドを同時に合成することはできない (通常、単一モード光ファイバは、コアとクラッドの一部を同時に VAD 法で製造している)。

【0005】 そこで、前記分散補償ファイバは次のようにして製造されている。まず、ゲルマニウムを添加した石英ガラス (コア組成) のみからなる石英系多孔質コア母材を周知の方法、例えば VAD 法で合成した後、脱水・焼結してコアロッド母材が形成される。次いで該コアロッド母材は所定径になるよう延伸されコアロッドとされた上で、その外面に石英系多孔質クラッド層が堆積される。次いでフッ素含有雰囲気下で脱水・焼結してガラス母材が得られ、このガラス母材を熔融紡糸して分散補償ファイバが得られている。

【0006】 このような分散補償ファイバの製造方法では、コアロッド上にクラッドとなる石英系多孔質クラッド層が堆積されるのに先立ち、前記コアロッド表面に延伸工程で付着した OH 基等を化学的手法または物理的手法による研削によって除去する作業が行われている。また、分散補償ファイバには偏波分散 (PMD=Polarization mode dispersion) 抑制のために、その断面構造のプロファイルが対称形となっていることが要求され、特にコアのプロファイルはほぼ完全に対称となることが望まれる。そのため、コアのプロファイルを整える目的で、前記コアロッドの外周が先の OH 基等の除去を目的とした研削よりも大量に研削されることもある。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】 ところが、このように前記コアロッド表面の研削工程を経て製造された分散補償ファイバはコアロッド表面の研削を行わないで製造した分散補償ファイバに比べてコアの複屈折による非常に大きな偏波分散が生じていることがわかった。該偏波分散は長距離光通信システムの高速化の実現において大きな障害となる。

【0008】

【課題を解決するための手段】本願発明の目的は、以上のような問題点に鑑み、偏波分散の発生を抑制することができる分散補償ファイバの構造とその製造方法を提供することにある。

【0009】本願第1の発明は、ゲルマニウムを添加した石英ガラス系コアと同コアの外側のフッ素を添加した石英ガラス系クラッドにより構成される分散補償ファイバにおいて、前記石英ガラス系コアの中心部に位置するセンタコア外周の周方向におけるゲルマニウム濃度変化量が比屈折率差の値で0.05%以下であることを特徴とする。

【0010】本願第2の発明は、ゲルマニウムを添加した石英ガラス系センタコアと同センタコアの外側のフッ素を添加した石英ガラス系サイドコアと同サイドコアの外側の石英ガラス系クラッドにより構成される分散補償ファイバにおいて、前記石英ガラス系コアの中心部に位置するセンタコア外周の周方向におけるゲルマニウム濃度変化量が比屈折率差の値で0.05%以下であることを特徴とする。

【0011】本願第3の発明は、ゲルマニウムを添加した石英系多孔質コア母材を脱水・焼結して得たコアロッド外周の周方向におけるゲルマニウム濃度変化量を比屈折率差の値で0.05%以下とした後、コアロッドの外側にフッ素を添加した石英系多孔質クラッド層を堆積させ、次いで脱水・焼結して得たガラス母材を熔融紡糸することを特徴とする。

【0012】本願第1および第2の発明に関わる分散補償ファイバは、センタコア外周の周方向におけるゲルマニウム濃度変化量が比屈折率差の値で0.05%以下となるように製造されているので、紡糸した時に生じるコアの複屈折を低減することができ、よってコアの複屈折に起因する偏波分散値を $0.1\text{ps}/(\text{km})^{(-1/2)}$ 以下に低減して品質の高い大容量光伝送が可能となる。

【0013】本願第3の発明によれば、石英系多孔質コア母材を脱水・焼結して得たコアロッド外周の周方向におけるゲルマニウム濃度変化量を比屈折率差の値で0.05%以下とした後、クラッド層を形成しているため、ガラス母材を線引きして得た分散補償ファイバの温度が熔融の線引（紡糸）温度から常温に変化する際に、クラッド近傍のコアの周方向の粘度の違いにより生じる膨張係数の差に起因する残留応力はほぼ0に等しくなる。よって、熱歪みによりコア、特にクラッド近傍のコアの周方向に不均一な張力が付与されることを避けることができる。このことにより、コアのプロファイルを整える研削が行われた場合においても、紡糸時に生じるコアの複屈折を大幅に低減することができることとなり、この複屈折に起因する偏波分散を低減させることができ、前記の如く品質の高い大容量光伝送が可能となるものである。

【0014】

【発明の実施の形態】以下に、本願発明の実施の形態を

図面を参照して詳細に述べる。

【0015】図2は、本願発明に関わる分散補償ファイバの屈折率分布のプロファイルの一例を示している。図2に示す屈折率分布は単峰型のものであり、屈折率が最も高いコア（センタコア）1の周りを屈折率の低いクラッド2が囲んだ構造となっている。石英（シリカ）の屈折率を $n_0$ としたとき屈折率 $n$ の部分の石英（ $\text{SiO}_2$ ）に対する比屈折率差 $\Delta$ は $\Delta = \{(n^2 - n_0^2) / 2n^2\} \times 100$ の演算により求められるものであり、図2の縦軸は石英に対する比屈折率差を示している。

【0016】センタコア1の屈折率分布形状を表す係数 $\alpha$ は $\alpha = 2$ でかつセンタコアの頂部の比屈折率差が $\Delta_{\text{top}} = 1.5\%$ 、センタコアの外周部の比屈折率差が $\Delta_{\text{bottom}} = 0.75\%$ （周方向の平均値）となるようにゲルマニウムがコア形成領域に添加されている。また、クラッド2には石英に対する比屈折率差 $\Delta F$ が $\Delta F = -0.2\%$ となるようにフッ素が均一に添加されている。

【0017】発明者は、このような分散補償ファイバにおいて、光信号の伝送時に生じる偏波分散の大きさはコア1外周の周方向における比屈折率差の変動に関係があるのではないかと考えた。そこで発明者は、VAD法によりゲルマニウムを添加して製造した石英系多孔質コア母材を、脱水・焼結してコアロッドを形成し、次に、このコアロッド外周を条件を変えて研削し、コアロッド外周近傍の周方向におけるゲルマニウム濃度を調整し、次いで外付け法でクラッド層を形成させた後、脱水・焼結させて得たガラス母材を周知の方法で線引きしてコア1外周の周方向に比屈折率差の変動を様々の大きさと与えた多数の分散補償ファイバを試料として作製した。

【0018】そして、各試料の分散補償ファイバについて偏波分散を測定したところ、図1のような関係を得ることができた。この図1の横軸はコア1の外周方向における比屈折率差の最大値と最小値の差を屈折率差変化量として表しており、縦軸は偏波分散を表している。図1から明らかなように、分散補償ファイバのコア外周の周方向におけるゲルマニウム濃度の変化量（コア外周の周方向におけるゲルマニウム濃度の最大値と最小値の差）が比屈折率差の値で0.05%より大きくなると、急激に偏波分散は増大して大容量光伝送を良好に確保する品質保証基準として発明者が考えている $0.1\text{ps}/(\text{km})^{(-1/2)}$ を越えてしまう。したがって、良品質の分散補償ファイバを得るには、コア外周の周方向におけるゲルマニウム濃度の変化量を比屈折率差の値で0.05%以下とする必要があることが分かった。

【0019】上記分散補償ファイバの試料を作製する際の化学的手法の研削は、ゲルマニウムを添加した石英系多孔質コア母材を脱水・焼結して得たコアロッドを垂直方向に立てて保持し、エッチング溶液（HF水溶液）をその周囲に循環させながら行った。なお、この際に、コアロッドを水平方向に寝かせて保持し、エッチング液を

循環させない状態で研削を行うと前記コアロッドの周方向に対する研削が不均一となり、コア外周部の比屈折率差変化量を0.05%以下とすることができないことが分かった。

【0020】さらに上記研削は、線引（紡糸）の熔融温度においてコア外周の粘度がクラッドの粘度よりも小さくなるように行うことが必要である。この研削によるコア外周の粘度の調整は、例えば、コアの中心から外端に至るゲルマニウム濃度の分布データをコンピュータ等に入力しておき（コアのゲルマニウムドーパント濃度は中心が最も高く、外端に向かうにつれ濃度が低くなる）、クラッド2に添加するフッ素の量 $q_F$ とコアに添加するゲルマニウムの量 $q_G$ の比がほぼ $q_F : q_G = 1 : 3$ となるときにコアとクラッドの線引き温度での粘度の柔らかさが同じになることを利用し（フッ素とゲルマニウムは共に添加量が大きくなるほど粘度の柔らかさが大となる）、クラッドへのフッ素の添加量のデータに基づきコア外周の粘度がクラッドの粘度よりも最適値だけ小さくなるコアの直径を演算し、その演算により求められたコア直径となるようにコア外径を研削することによりコア外周の粘度の調整を自動的に行うことが可能となるものである。また、線引温度における粘度を調節するために、予めコアに粘度を柔らかくする微量のフッ素やリンを添加する方法も有効である。

【0021】上記実施の形態例において、コアロッドの最外層の周方向におけるゲルマニウム濃度の測定、すなわち比屈折率差の測定は、コアロッドの直径上の屈折率分布（ゲルマニウムの濃度分布）を測定するプリフォームアナライザ（PA=preform analyzer）によって行う。具体的には、コアロッドの断面の0度面、45度面、90度面、135度面の4箇所の屈折率分布をそれぞれ4回測定し、コアロッド最外層の各位置での比屈折率差を求めた。そして、4箇所位置での比屈折率差の測定値の最大と最小の差を比屈折率差で表したゲルマニウム濃度の変化量とした。周方向のゲルマニウム濃度の測定方法としては他に、電子プローブX線マイクロアナライザー（EPMA=electron probe X-ray microanalyzer）、屈折ニアフィールド法（RNF=refracted near field technique）等があるが、測定精度から本実施例で採用したプリフォームアナライザによる測定方法が最も好ましい。

【0022】光伝送に悪影響を与える偏波分散は、主に、分散補償光ファイバのコアの断面構造の非対称性（非円性）とコア外周の周方向のゲルマニウム濃度の変動に起因して生じる。前記コアの非円性はガラス母材を熔融紡糸してファイバ化する際に生じ、その要因としては線引き時の軸ずれや、コア頂部の比屈折率差 $\Delta n_{top}$ の分布形状の非対称性（例えば、MCVDで作成したファイバのように軸対称でなくギザギザになる場合や、 $\alpha$ 乗プロファイルのコア頂部近傍での軸対称性からずれて非対称となる場合がある）が考えられる。

【0023】偏波分散を抑止するためには、非円性を修正する方法とコア外周の周方向の非屈折率差の変動（ゲルマニウム濃度の変動）を抑制する方法とがあるが、本発明者の検討によれば、比屈折率差の変動を抑制する方法が格段に効果があることが確認された。すなわち、非円性がある程度残存していても、コア近傍の比屈折率差の差を小さく抑えることで、つまり、コア外周の周方向の比屈折率差の差を小さく抑えることにより、偏波分散（PMD）の増加を十分に小さく抑制できることを実証することができた。

【0024】本実施形態例ではコア外周の周方向のゲルマニウム濃度変化量を比屈折率差の値で0.05%以下にしているので、ゲルマニウム濃度の変動に伴う熔融紡糸時の粘度の変動が抑えられる。したがって、紡糸時におけるコア外周の各位置での張力分布を均一化でき、これにより線引き（紡糸）時の張力差によって生じていると推測される残留応力に起因する複屈折を抑止し光伝送時の偏波分散の増加を防止できるという効果が得られるのである。

【0025】なお、本発明は上記実施の形態例に限定されるものではなく、様々な実施の形態を採り得る。例えば、上記例では分散補償ファイバの屈折率分布のプロファイルを単峰型としたが、屈折率分布のプロファイルは図3に示す如く階段型のものでもよく、図4に示す如くW型のものでもよい。図3に示す階段型のプロファイルはコアをセンタコア1aとサイドコア1bによって形成し、センタコア1aの屈折率 $n_c$ とサイドコアの屈折率 $n_s$ とクラッドの屈折率 $n_L$ の関係が $n_c > n_s > n_L$ に設定されているものである。

【0026】また、図4に示すW型のプロファイルは最も屈折率の大きいセンタコア1aの周りを囲んで屈折率の低いサイドコア1bが設けられ、このサイドコア1bの周りを囲んで該サイドコア1bよりも屈折率の大きいクラッド2が配されて成るものである。なお、W型のプロファイルの光ファイバにおいては、必要に応じてサイドコアとクラッドの間にセグメント層を設けることもある。この際、セグメント層をゲルマニウムを添加した石英ガラスにより構成すると曲げ損失特性を改善することができる効果がある。

【0027】これら、図3、図4に示すプロファイルのものにあっても、センタコア1aの外周の周方向におけるゲルマニウム濃度変化量が比屈折率差の値で0.05%以下に設定されることで、前記した単峰型の分散補償光ファイバの場合と同様に偏波分散の増加を抑制して大容量光伝送が可能となるものである。

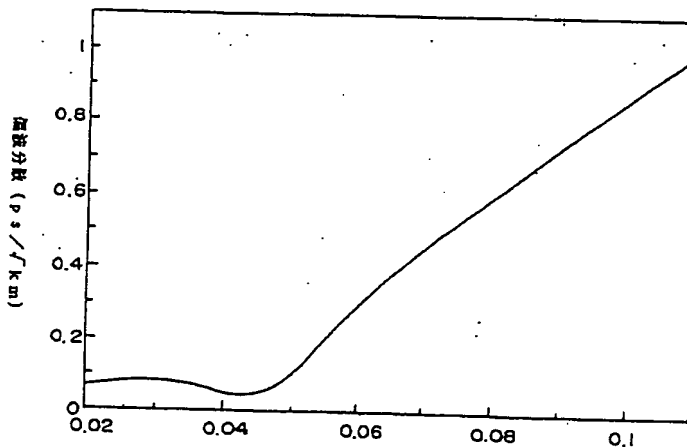
【0028】

【発明の効果】本願第1および第2の発明に関わる分散補償ファイバは、センタコア外周の周方向におけるゲルマニウム濃度変化量が比屈折率差の値で0.05%以下となるように製造されているので、紡糸した時に生じるコア

の複屈折を低減することができ、よってコアの複屈折に起因する偏波分散値を $0.1 \text{ ps}/(\text{km})^{1/2}$ 以下に低減して品質の高い大容量光伝送が可能となる。

【0029】本願第3の発明によれば、石英系多孔質コア母材を脱水・焼結して得たコアロッド外周の周方向におけるゲルマニウム濃度変化量を比屈折率差の値で0.05%以下とした後、クラッド層を形成しているので、ガラス母材を線引きして得た分散補償ファイバの温度が溶融の線引（紡糸）温度から常温に変化する際に、クラッド近傍のコアの周方向の粘度の違いにより生じる膨張係数の差に起因する残留応力はほぼ0に等しくなる。よって、熱歪みによりコア、特にクラッド近傍のコアの周方向に不均一な張力が付与されることを避けることができる。このことにより、コアのプロファイルを整える研削が行われた場合においても、紡糸時に生じるコアの複屈

【図1】



コア外周部の比屈折率差変化量 (%)

折を大幅に低減することができることとなり、この複屈折に起因する偏波分散を低減させることができ、前記の如く品質の高い大容量光伝送が可能となるものである。

【図面の簡単な説明】

【図1】図1は、コア外周部の比屈折率差の変化量と偏波分散の大きさの関係を示したグラフである。

【図2】図2は、本発明に関わる分散補償ファイバの屈折率分布のプロファイルを示す概略図である。

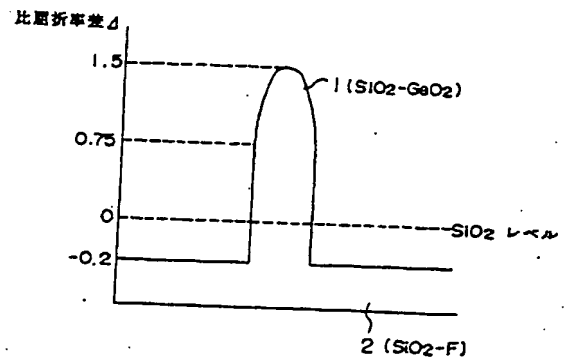
【図3】図3は、本発明に関わる分散補償ファイバの階段型屈折率分布のプロファイルを示す図である。

【図4】図4は、本発明に関わる分散補償ファイバのW型屈折率分布のプロファイルを示す図である。

【符号の説明】

- 1 コア
- 2 クラッド

【図2】



【図3】

【図4】

